

PRV

PATENT- OCH REGISTRERINGSVERKET  
Patentavdelningen

11 APR 2003

10/531103

SE 03/01556

**Intyg  
Certificate**

*Härmed intygas att bifogade kopior överensstämmer med de handlingar som ursprungligen ingivits till Patent- och registreringsverket i nedannämnda ansökan.*

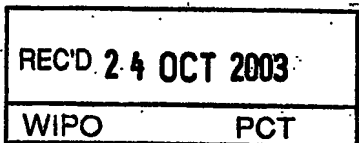
*This is to certify that the annexed is a true copy of the documents as originally filed with the Patent- and Registration Office in connection with the following patent application.*



(71) Sökande                      ABB AB, Västerås SE  
Applicant (s)

(21) Patentansökningsnummer    0202974-2  
Patent application number

(86) Ingivningsdatum                      2002-10-09  
Date of filing



Stockholm, 2003-10-14

För Patent- och registreringsverket  
For the Patent- and Registration Office

*Lisa Junegren*

Lisa Junegren

Avgift  
Fee

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

JON ijn

Sökande: ABB AB

5

**Omriktare samt förfarande för styrning av en omriktare**

**UPPFINNINGENS OMRÅDE OCH TIDIGARE KÄND TEKNIK**

10

Föreliggande uppfinning avser ett förfarande för styrning av en omriktare enligt ingressen hos bifogade patentkrav 1 samt en omriktare enligt ingressen hos bifogade självständiga omriktarpatentkrav.

15

Uppfinningen avser således omriktning av spänning vid vilken åtminstone den ena sidan hos omriktaren för en likspänning, men den andra sidan inte nödvändigtvis måste föra en växelspanning, utan nämnda utgång kan även tillhöra en andra sida hos en omriktare i form av en DC/DC-omriktare använd för att ändra nivån på en likspänning. Dock kommer härafter i för uppfinningen belysande men följaktligen ingalunda begränsande syfte fallet av en omriktare med nämnda utgång ansluten till en växelspanningsledning, det vill säga omriktning mellan likspänning och växelspanning, att beskrivas. Därvid kommer fallet av en omriktare av

20

25

30

35

VSC-typ (Voltage Source Converter) avsedd att via växlande mellan nämnda huvudtillstånd alstra ett tåg av pulser med bestämd amplitud enligt ett pulsbreddsmoduleringsmönster på omriktarens utgång att beskrivas. En sådan omriktare kan användas i allehanda situationer, då likspänning skall omvandlas till växelspanning och tvärtom, varvid exempel på sådana användningar är i stationer hos HVDC-anläggningar (högspänd likström), i vilka likspänningen normal omvandlas till tre-fas-växelspanning eller omvänt eller i så kallade back-to-back-stationer där växelspanning först omvandlas till likspänning och sedan denna till växelspanning, liksom i SVC-er (Static Var Compensator), där likspänningssidan består av en eller flera fritt hängande kondensatorer.

Växelströmssidan hos omriktaren skulle även kunna vara ansluten till en växelströmsmotor för drivande därav eller till en växelströmsgenerator.

- 5 Vidare påpekas att förfarandet är inriktat på styrning av en nämnd omriktare som uppvisar åtminstone nämnda sex enheter, vilket innebär att åtminstone tre olika nivåer kan erhållas på spänningen på nämnda utgång, men det är fullt möjligt att omriktaren uppvisar fler sådana enheter, så att fler än fyra huvud-
- 10 tillstånd och även fler än tre nivåer på spänningen på utgången kan uppnås. Därvid kan flera omriktare av detta slag bilda del av en omriktare för flera faser, såsom för trefas, men den kan även vara anordnad att ensam bilda en omriktare för omvandling mellan likspänning och en enfasväxelspänning.
- 15 Vidare är uppfinningen inte begränsad till några speciella spänningsnivåer på nämnda första likspänningssida eller storlek på effekt som skall hanteras. De förra ligger med fördel inom intervallet 1 kV-500 kV.
- 20 En fördel med att vid omriktning av växelspänning till likspänning och vice versa använda en omriktare med åtminstone tre nivåer istället för en tvånivåbrygga är att betydligt lägre frekvenser för switchande av enheternas halvledarelement enligt pulsbredds-
- 25 moduleringsmönstret kan användas för uppnående av en kurvform hos växelspänningssidan av en given kvalitet. Därigenom kan switchförlusterna minskas avsevärt, så att det även blir möjligt att överföra högre effekter genom en sådan trenivåomriktare än genom en tvånivåbrygga, då högre ledförluster kan tillåtas.
- 30 Samtidigt reduceras genom pulsbreddsmoduleringsförfarandet genererade övertoner.
- 35 Ett förfarande av inledningsvis definierat slag är tidigare känt genom sökandens egna svenska patent 517 427. Detta svenska patent beskriver ett förfarande som utgör en förbättring av tidigare kända sådana förfaranden för styrning av en omriktare med nämnda sex enheter genom att föreslå hur switchförlusterna skall

fördelas jämnare än tidigare mellan de olika enheterna. Genom att hos en utföringsform av förfarandet enligt det svenska patentet 517 427 utnyttja endast fyra olika tillstånd hos enheternas halvledarelement blir själva förfarandet för styrning av halvledarelementen mycket enkelt. Det påpekas att det i praktiken naturligtvis förekommer ett femte möjligt tillstånd hos denna utföringsform, nämligen när omriktaren är ur drift och då alla halvledarelementen är släckta. Genom att halvledarelementen hos den första och sjätte enheten styrs att i respektive huvudtillstånd intaga samma läge, tänd eller släckt, samt halvledarelementen i den fjärde och femte enheten styrs att i respektive huvudtillstånd intaga samma läge, tänd eller släckt, blir det möjligt att använda sig av samma styrsignal för halvledarelementen i den första och sjätte enheten respektive i den fjärde och femte enheten.

Även om det är fördelaktigt att så att säga förregla halvledarelementen i fyra av enheterna parvis på detta sätt har föreliggande uppfinnare kommit till insikten att det stundom kan innebära problem att ge halvledarelementen hos ett sådant par av enheter styrsignaler för tändande eller släckande av dem samtidigt. Detta beror på att halvledarelementen kommer att reagera skiljaktigt på en sådan styrsignal i beroende av om halvledarelementet är strömförande vid omkopplingen eller ej, det vill säga om det rör sig om en passiv spänningsomkoppling eller en verklig strömkommutering. En passiv spänningsomkoppling kan gå betydligt snabbare än en verklig strömkommutering, så att i det ena fallet tänds eller släcks halvledarelementet avsevärt snabbare än i det andra fallet. Detta kan innebära, villkorat med strömriktning vid kommutering, att kortvariga höga spänningstoppar skulle kunna uppnås över någon nämnd enhet, vilket skulle kunna förstöra halvledarelementet ifråga. Alternativt måste halvledarelementen, eller åtminstone sådana i vissa enheter, utformas att i de flesta fall vara överdimensionerade vad gäller spänningstålighet för att klara sådana spänningstoppar, och därvid blir de onödigt dyra.

35

## SAMMANFATTNING AV UPPFINNINGEN

5 Syftet med föreliggande uppfinning är att tillhandahålla ett förfarande samt en omriktare av inledningsvis definierat slag, vilka gör det möjligt att råda bot på ovannämnda olägenhet och därigenom göra det möjligt att tillförsäkra att inte något halvledarelement förstörs vid omkopplingarna på grund av spänningstoppar utan krav på nämnd överdimensionering av halvledarelementen för den skull.

10 Detta syfte uppnås enligt uppfinningen genom tillhandahållande av ett förfarande av inledningsvis definierat slag, hos vilket vid ett växlande mellan huvudtillstånd genom en så kallad liten kommuteringsloop utförs, det vill säga ett växlande mellan ett anslutande av pluspolen till utgången och nolltillståndet enligt det  
15 tredje huvudtillståndet eller ett växlande mellan ett anslutande av minuspolen till utgången och nolltillståndet enligt det fjärde huvudtillståndet, åtminstone när strömriktningen skulle innebära en spänningstopp på väsentligen hela spänningen mellan nämnda  
20 pluspol och minuspol över den av den andra eller den tredje enheten som ej tillhör kommuteringsloopen i det fall halvledarelementen som skall vara tända i det kommande huvudtillståndet och tillhör ett nämnt par av enheter skulle tändas samtidigt, en extra sekvens i form av en fördröjd tändning av halvledarelementet hos den ena enheten hos sistnämnda par relativt halvledarelementet hos detta pars andra enhet.  
25

Uppfinnarna har således insett att nämnda problem med spänningstoppar uppnås vid ett växlande mellan huvudtillstånd genom  
30 en så kallad liten kommuteringsloop, och att detta problem kan lösas genom att införa en fördröjning av tändningen av halvledarelementet hos den ena enheten hos ett nämnt enhetspar relativt halvledarelementet hos detta pars andra enhet vid sådan kommutering. Genom en sådan fördröjning kommer det att kunna  
35 tillses att aldrig väsentligt mer än halva spänningen mellan nämnda pluspol och minuspol kommer att appliceras över den andra eller tredje enheten. Dessa enheters halvledarelement be-

höver således inte överdimensioneras vad gäller spänningstålighet relativt halvledarelementen hos andra enheter hos omriktaren.

- 5 Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen utförs nämnda extra sekvens alltid vid växling av huvudtillstånd enligt en nämnd liten kommuteringsloop oberoende av strömriktningen vid utgången. Det har befunnits att problemet med nämnda spänningstoppar är beroende av strömriktningen vid en nämnd kommutering, men genom att göra utförandet av extrasekvensen oberoende av strömriktningen kan det uppfinningsenliga förfarandet förenklas betydligt och dess tillförlitlighet höjas.

- 15 Det har därvid befunnits att det är fördelaktigt att tända halvledarelementet i den yttre enheten, det vill säga den första eller fjärde enheten, hos respektive par av enheter med fördröjning relativt den andra enheten, det vill säga den sjätte eller femte, i paret.

- 20 Enligt en annan föredragen utföringsform av uppfinningen är nämnda fördröjning mindre än en tiondel, företrädesvis mindre än en hundradel av den normala varaktigheten av ett nämnt huvudtillstånd. Således är det meningen att det mellantillstånd som uppnås genom nämnda fördröjning skall ha en i sammanhanget
- 25 försvinnande kort varaktighet relativt huvudtillstånden och därmed i praktiken inte påverka resultatet av omriktarens drift på annat sätt än att spänningstoppar över halvledarelementen ifråga undviks.

- 30 Enligt en annan föredragen utföringsform av uppfinningen styrs enheternas halvledarelement så att mellan två huvudtillstånd alltid ett så kallat blankingtillstånd uppnås för undvikande av att halvledarelement som inte får vara tända samtidigt skall kortvarigt åtminstone delvis vara detta och att under detta tillstånd ett
- 35 sådant halvledarelement hinner släcka innan därefter ett annat sådant tänds. Härigenom kan partiella kortslutningar hos omriktaren ifråga undvikas, exempelvis kortslutningar av kondensatorer

använda på omriktarens likspänningssida för definierande av likspänningen.

5 Enligt en annan föredragen utföringsform av uppfinningen styrs halvledarelementen för att minimera varaktigheten hos mellan nämnda huvudtillstånd liggande tillstånd med halvledarelementen i den andra och sjätte enheten samtidigt tända eller i den tredje och femte enheten samtidigt tända för undvikande av parallellströmmar i omriktaren. Det har nämligen befunnits att till odefinierade drifttillstånd hos omriktaren rådande parallellströmmar i 10 beroende av strömriktningen vid omriktarens utgång kan uppnås om halvledarelementen i den andra och sjätte enheten eller de i den tredje och femte enheten är tända samtidigt i mellan huvudtillstånden liggande mellantillstånd. Problemet med sådana parallellströmmar och odefinierade drifttillstånd hos omriktaren löses genom att göra dessa mellantillstånd så korta det överhuvudtaget går. 15

20 Enligt en annan föredragen utföringsform styrs vid växlande mellan huvudtillstånd via en stor kommuteringsloop, det vill säga ett växlande mellan det första huvudtillståndet och det fjärde huvudtillståndet eller ett växlande mellan det andra huvudtillståndet och det tredje huvudtillståndet, de till samma enhetspar hörande halvledarelementen med en och samma styripuls för att båda under växlandet konstant hållas i samma läge, släckt eller tämt. Det har befunnits att oberoende av riktningen på strömmen i omriktarens utgång uppstår inga problem med nämnda spänningstoppar vid kommutering enligt den så kallade stora kommuteringsloopen, så att förfarandet kan förenklas i ett sådant fall genom att använda en och samma styripuls för halvledarelementen tillhörande 25 samma par. 30

35 Enligt en annan föredragen utföringsform av uppfinningen utförs förfarandet på en omriktare med flera nämnda halvledarelement seriekopplade i varje nämnd enhet, och halvledarelementen tillhörande samma enhet styrs genom en och samma styripuls. Det uppfinningsenliga förfarandet är speciellt väl lämpat för omriktare

5 hos vilka det krävs en seriekoppling av ett flertal halvledarelement för att de tillsammans skall kunna hålla den spänning som enheten måste hålla i sitt blockerande tillstånd, eftersom i ett sådant fall vissa halvledarelement redan kan ha en något högre spänning över sig än andra halvledarelement på grund av vissa smärre skillnader mellan halvledarelementen, och i ett sådant fall är det ytterst viktigt att nämnda spänningstoppar kan undvikas för att eliminera risken för att just dessa halvledarelement slås ut och därigenom även övriga halvledarelement slås ut.

10 Uppfinningen avser även en omriktare enligt bifogade självständiga omriktarpatentkrav, och fördelarna med en sådan omriktare i förhållande till tidigare kända omriktare av det slaget framgår med all önskvärd tydlighet av beskrivningen ovan av förfarandet enligt uppfinningen samt de föredragna utföringsformerna därav.

15 Uppfinningen avser även ett datorprogram samt ett datorläsbart medium enligt motsvarande bifogade patentkrav. Det inses lätt att förfarandet enligt uppfinningen definierat i bifogade uppsättning förfarandepatentkrav är väl lämpat att utföras genom programinstruktioner från en processor påverkbar av ett med ifrågasvarande programsteg försett datorprogram.

25 Ytterligare fördelar med samt fördelaktiga särdrag hos uppfinningen framgår av den efterföljande beskrivningen samt övriga osjälvständiga patentkrav.

## KORT BESKRIVNING AV RITNINGARNA

30 Här nedan beskrivs såsom exempel anförda föredragna utföringsformer av uppfinningen under hänvisning till bifogade ritningar, på vilka:

35 fig 1 schematiskt illustrerar en omriktare av tre-nivå-typ av det slag på vilket det uppfinningsenliga förfarandet är applicerbart,



fig 2 illustrerar schematiskt hur ett pulsbreddsmoduleringsmönster läggs ut på fasutgången hos en omriktare enligt fig 1, och

- 5 fig 3 är ett förenklat blockschema illustrerande principen för styrning av en omriktare enligt fig 1 enligt föreliggande uppfinning.

### DETALJERAD BESKRIVNING AV FÖREDRAGNA UTFÖRINGSFORMER AV UPPFINNINGEN

- 10 I fig 1 illustreras uppbyggnaden av en tre-nivå-omriktare av det slag som finns beskrivet i sökandens ovannämnda svenska patent 517 427. Det illustreras här hur omriktaren uppvisar tre så kallade fasben 1-3 med var sin fasutgång 4-6 för anslutande av omriktarens växelspänningssida via en reaktor och/eller transformator till ett trefas-växelspänningsnät, men härefter kommer
- 15 endast det ena av dessa fasben att diskuteras. Det är även fullt möjligt att omriktaren är ansluten till ett enfas-växelspänningsnät eller växelspänningssidan kan förutom AC-nätet anslutas till en generator eller en motor. Omriktaren är en så kallad VSC-omriktare, vilken uppvisar en mellan två poler, en positiv 7 och en negativ 8, hos en likspänningssida hos omriktaren anordnad seriekoppling av fyra enheter S1-S4, vilka vardera innefattar ett
- 20 släckbart halvledarelement 13-16 och en därmed antiparallellt kopplad diod 17-20 och är givna ordningsnummer efter ordningen i seriekopplingen från den positiva till den negativa polen.
- 25

- Två seriekopplade kondensatorer 21, 22 är anordnade mellan nämnda båda poler, och en punkt 23 (likspänningssidans mittpunkt) mellan dessa (vilket normalt är fallet) är ansluten till jord 9 via en impedans Z, varvid denna impedans kan variera från noll (= direktjordning av likspänningssidans mittpunkt) till ett värde X (= impedansjordning av likspänningssidans mittpunkt, via till exempel en resistans R eller en induktans L) upp till ett värde  $X_{\max}$  (= ojordad mittpunkt, där jordningen enbart bestäms av strökapacitanser mellan likspänningssidans mittpunkt och jord), så att på
- 30
- 35 detta sätt potentialerna  $+U/2$  respektive  $-U/2$  tillhandahålls hos

respektive pol, varvid U är spänningen mellan de båda polerna 7, 8.

5 En andra mittpunkt 24 hos seriekopplingen mellan den första och andra enheten är via en femte enhet S5 med dioden 26 med ledriktning med avseende på fasutgången 4 motsatt ledriktningen hos den andra enhetens diod och ett antiparallellt därmed kopplat släckbart halvledarelement 10 ansluten till likspänningssidans mittpunkt och en tredje mittpunkt 27 hos seriekopplingen mellan  
10 den tredje och fjärde enheten är via en sjätte nämnd enhet S6 med dioden 29 med ledriktning med avseende på fasutgången motsatt den tredje enhetens diod och ett antiparallellt därmed kopplat släckbart halvledarelement 11 ansluten till likspänningssidans mittpunkt.

15 De släckbara halvledarelementen hos enheterna S1-S6 kan exempelvis vara IGBT-er eller GTO-er. Fastän endast en IGBT eller GTO per enhet visats kan denna stå för en mängd, seriekopplade, simultant styrda IGBT-er eller GTO-er, vilket ävenledes  
20 normalt är fallet, då det krävs ett förhållandevis stort antal sådana halvledarelement för att hålla den spänning som varje enhet måste hålla i blockerat tillstånd, då exempelvis likspänningssidan har en spänning överstigande 10 kV. Likaså kan varje visad diod, så kallad frihjulsdiod, stå för en mängd seriekopplade  
25 dioder.

De i omriktaren ingående halvledarelementen styrs via en schematiskt antydd inrättning 30 att tändas och släckas för att omväxlande ansluta likspänningssidans mittpunkt, pluspol och minuspol till fasutgången hos respektive fasben för alstrande av ett  
30 tåg av pulser med bestämda amplituder och enligt ett pulsbreddsmoduleringsmönster (PWM) på fasutgången. Därvid är pulsbreddsmoduleringsfrekvensen betydligt högre än, med fördel åtminstone 5 gånger så hög, mera föredraget åtminstone 10  
35 gånger så hög och mest föredraget åtminstone 20 gånger så hög som grundfrekvensen hos den normalt väsentligen sinusformade växelströmmen på omriktarens fasutgång. Således kan puls-

breddsmoduleringsfrekvensen företrädesvis vara i storleksordningen 1-2 kHz, medan grundfrekvensen, det vill säga den frekvens grundtonen hos fasströmmen på fasutgången har, typiskt sett är 50 Hz eller 60 Hz. Vid generator- eller motoransluten omriktare kan dock frekvensen hos strömmen variera inom ett stort område.

Omriktaren kan drivas på olika sätt, såsom för överföring av aktiv effekt som likriktare eller som växelriktare, eller för överförande av reaktiv effekt, eller för överföring av en kombination av aktiv och reaktiv effekt.

Likspänningssidans mittpunkt 23 är anslutbar till fasutgången 4 genom två olika så kallade nolltillstånd, nämligen ett första i vilket den andra S2 och den femte S5 enheten är i ledande tillstånd, och ett andra, i vilket den tredje S3 och den sjätte S6 enheten är i ledande tillstånd. Med fördel utnyttjas denna valmöjlighet av nolltillstånd för styrande av omriktaren så att summan av switch- och ledförlusterna fördelas jämnare mellan halvledarelementen hos fyra av de sex enheterna, och hur sådan styrning kan ske finns närmare beskrivet i svenska patentet 517 427.

Med fördel är inrättningen 30 anordnad att styra enheternas halvledarelement så att de båda nolltillstånden intages väsentligen lika många gånger per tidsenhet, och det är fördelaktigt att därvid halvledarelementen styrs så att väsentligen varje gång ett nämnt nolltillstånd skall väljas väljs det motsatta nolltillståndet mot det närmast i tiden föregående nolltillståndet.

Styrinrättningen 30 är anordnad att styra enheternas S1-S6 halvledarelement att tändas och släckas så att omväxlande fyra huvudtillstånd erhålles hos omriktaren i form av anslutning av utgången till den första sidans pluspol enligt ett första, vid vilket således åtminstone halvledarelementen hos S1 och S2 måste vara tända, minuspol enligt ett andra, i vilket åtminstone halvledarelementen hos S3 och S4 måste vara tända, eller mittpunkt via något av nämnda två nolltillstånd. Likt styrförfarandet enligt

det svenska patentet 517 427 görs hos det uppfinningsenliga  
förfarandet en förregling mellan enhetsparen S1, S6 och S4, S5  
vad gäller deras läge i respektive huvudtillstånd, så att de till  
samma par hörande är samtidigt tända eller släckta. Därvid till-  
ses att motstående enheters halvledarelement har släcksignaler  
5 innan halvledarelementet som skall tändas för tändsignal. Skulle  
inte en sådan förregling vara förhanden och exempelvis S1, S6  
tändas innan S4, S5 släcks vid växlande från det fjärde till det  
första tillståndet, då kommer kondensatorerna 21 och 22 att kort-  
10 slutas kortvarigt och stora kortslutningsströmmar uppstå.

I fig 2 illustreras hur ett pulsbreddsmoduleringsmönster typiskt  
sett kan se ut för en omriktare av det slag som visas i fig 1. Där-  
vid är den visade sinuskurvan 31 spänningsbörvärdet på omrikta-  
15 rens fasutgång 4, medan det framgår att när nämnda börvärde är  
positivt anslutes omväxlande likspänningssidans pluspol och  
dess mittpunkt 23 till fasutgången, det vill säga positiva pulser  
och nollpulser medan skiftande bredd växlas, medan när nämnda  
börvärde är negativt det växlas mellan negativa pulser och noll-  
20 pulser.

I fig 3 illustreras mycket schematiskt hur styrning genom styrin-  
rättningen 30 i praktiken går till. Ett referensvärde motsvarande  
fasuttagets spänningsbörvärde inkommer vid 33 till en puls-  
25 breddsmoduleringsgenerator 34, vilken utarbetar det i fig 2 vi-  
sade pulsbreddsmoduleringsmönstret och sänder en puls-  
breddsmoduleringsignal på sin utgång 35, vilken beordrar en  
positiv, negativ eller nollpuls på fasutgången, till en nolltill-  
ståndsväljare 36, vilken sänder en pulsbreddsmoduleringsignal  
30 innehållande uppgift även om vilket nolltillstånd som skall väljas  
när nollpuls skall läggas ut på fasutgången, till ett medel 37 för  
styrande av de olika enheternas S1-S6 halvledarelement att tän-  
das eller släckas, vilket illustreras genom de sex pilarna 38 till  
halvledarelementen.

35 Föreliggande uppfinnare har insett att vid vissa kommuteringar  
mellan olika huvudtillstånd hos ett förfarande enligt det svenska

patentet 517 427 kommer kortvariga spänningstoppar på väsentligen hela spänningen U mellan likspänningssidans båda poler att appliceras över någon av de båda inre enheterna, det vill säga S2 eller S3. Därvid är risken stor att ett eller flera halvledarelement i en sådan enhet havererar, om inte enheterna kraftigt överdimensioneras vad gäller spänningstålighet, vilket blir kostsamt. Närmare bestämt uppstår detta problem vid ett växlande mellan huvudtillstånd genom en så kallad liten kommuteringsloop, det vill säga mellan anslutande av pluspolen till utgången och det tredje nolltillståndet eller anslutande av minuspolen till utgången och det fjärde nolltillståndet. Detta är beroende av att enheterna beter sig olika i beroende av om det rör sig om en passiv spänningsomkoppling hos halvledarelementen eller om det rör sig om en verklig strömkommutering. Detta kan exemplifieras med att det skall växlas mellan det första huvudtillståndet, i vilket S1, S2 och S6 är tända, till det tredje huvudtillståndet, i vilket S2, S5 och S4 är tända. Skulle i ett sådant fall efter släckande av S1 och S6 S4 och S5 tändas samtidigt, då skulle på grund av att S1 har lett ström det ta en i sammanhanget inte oansenlig tid att tända halvledarelementet i S5 och kommutera över strömmen från S1 till detta, så att kortvarigt utgången 4 fortfarande skulle ha kvar samma potential som likspänningssidans pluspol. Skulle däremot halvledarelementet i S4 tändas samtidigt, vilket skulle innebära en passiv spänningsomkoppling utan någon strömkommutering, då skulle betydligt snabbare minuspolens potential anslutas till punkten 27 mellan S3 och S4, så att kortvarigt hela spänningen mellan de båda likspänningspolerna skulle ligga över S3. Detta problem råder emellertid uppfinningen bot på genom att vid växlande mellan huvudtillstånd genom en liten kommuteringsloop införa en extra-sekvens i form av en fördröjd tändning av halvledarelementet hos den ena enheten hos det par som skall tändas relativt halvledarelementet hos detta pars andra enhet. I det just beskrivna exemplet innebär detta att halvledarelementet i S4 tänds med en fördröjning relativt halvledarelementet i S5, så att nämnda strömkommutering har hunnit ske och fasutgången 4 är på nollpotential innan halvledarelementet i S4 tänds, och därmed endast

halva likspänningen kommer att anligga över S3. Därvid är nämnda fördröjning mycket kort i förhållande till den normala varaktigheten hos ett nämnt huvudtillstånd, och förhållandet är typiskt sett så att fördröjningen är mindre än en tiondel, företrädesvis mindre än en hundraedel av den normala varaktigheten av ett nämnt huvudtillstånd, och kan exempelvis vara  $5 \mu\text{s}/1000 \mu\text{s}$ .

Förutom dessa så kallade extra sekvenser vid en så kallad liten kommuteringsloop styrs enheternas halvledarelement så att man mellan två huvudtillstånd alltid har ett så kallat blankingtillstånd för undvikande av att halvledarelement som inte får vara tända samtidigt skall kortvarigt åtminstone delvis vara detta och att under detta tillstånd ett sådant halvledarelement hinner släcka innan därefter ett annat sådant tänds. Sådana blankingtillstånd har en tidslängd i ungefärligen samma storleksordning som nämnda fördröjning och är således försvinnande korta i förhållande till den normala varaktigheten hos ett huvudtillstånd. De införs mellan alla huvudtillstånd, även vid så kallade stora kommuteringsloopar där en nämnd extrasekvens inte genomförs.

Dessutom styrs halvledarelementen för att minimera varaktigheten hos mellan nämnda huvudtillstånd liggande tillstånd med halvledarelementen i den andra och sjätte enheten samtidigt tända eller i den tredje och femte enheten samtidigt tända för undvikande av parallellströmmar i omriktaren.

Detta leder till följande kontrollscheman för växlande mellan huvudtillstånd genom en så kallad liten kommuteringsloop enligt föreliggande uppfinning:

I tabell 1-4 är de uppfinningsenliga förfarandena med extra-sekvenser vid ett växlande mellan huvudtillstånd genom en så kallad liten kommuteringsloop visade, varvid B indikerar blankningstillstånd och E extrasekvens. På motsvarande sätt är växlande mellan huvudtillstånd genom de båda så kallade stora kommuteringslooperna sammanfattade i tabell 5 och tabell 6. Där framgår att inga extrasekvenser används.

**Tabell 1**

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
1+	1	1	0	0	0	1
B	0	1	0	0	0	0
E	0	1	0	0	1	0
3N	0	1	0	1	1	0

5

**Tabell 2**

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
3N	0	1	0	1	1	0
E	0	1	0	0	1	0
E	0	1	0	0	1	1
B	0	1	0	0	0	1
1+	1	1	0	0	0	1

10

**Tabell 3**

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
2-	0	0	1	1	1	0
B	0	0	1	0	0	0
E	0	0	1	0	0	1
4N	1	0	1	0	0	1

0  
1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
A  
B  
C  
D  
E  
F  
G  
H  
I  
J  
K  
L  
M  
N  
O  
P  
Q  
R  
S  
T  
U  
V  
W  
X  
Y  
Z

Tabell 4

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
4N	1	0	1	0	0	1
E	0	0	1	0	0	1
E	0	0	1	0	1	1
B	0	0	1	0	1	0
2-	0	0	1	1	1	0

5

Tabell 5

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
1+	1	1	0	0	0	1
B	1	0	0	0	0	1
4N	1	0	1	0	0	1
B	1	0	0	0	0	1
1+	1	1	0	0	0	1

Tabell 6

10

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
2-	0	0	1	1	1	0
B	0	0	0	1	1	0
3N	0	1	0	1	1	0
B	0	0	0	1	1	0
2-	0	0	1	1	1	0

15

Växlingen enligt tabell 1 har redan kommenterats högre upp. Den enligt tabell 2 kan förklaras enligt följande. Mellantillståndet med S2 och S5 ledande läggs in före det andra mellantillståndet med S2, S5 och S6 ledande, då det i annat fall finns risk att S4 och S6 är kortvarigt samtidigt tända och kortsluter kondensatorn 22. Extrasekvensen i form av tillståndet med S2, S5 och S6 tända är



5 till för att tvinga mittpunkten 27 mellan S3 och S4 att bli noll innan fasutgången ansluts till pluspolen. Blankningstillståndet med S2 och S6 tända är viktigt, då man i annat fall skulle blivit tvungen att släcka S5 samtidigt som S1 tänds, och man vill av ovan nämnd anledning inte styra halvledarelementen i två enheter i en liten kommuteringsloop samtidigt.

10 Tabell 3 och tabell 4 behöver ingen ytterligare förklaring, då samma problem uppträder där som vid växlingarna enligt tabell 1 och tabell 2 och dessa växlingar är spegelsymmetriska relativt utgången 4 och mittpunkten 23 relativt de förra.

15 Såsom ovan redan nämnts skall tillstånden med S3 S5 S6, S3 S5, S2 S5 S6 eller S2 S6 samtidigt ledande minimeras för att begränsa varaktigheten av parallellströmmar i kretsen så långt som möjligt.

20 För att förenkla det uppfinningsenliga styrförfarandet görs inte detta beroende av riktningen på strömmen i utgången 4, även om vissa problem som löses genom nämnda extrasekvenser endast förekommer vid en given strömriktning och vid motsatt strömriktning därmed extrasekvensen skulle kunna utelämnas. Detta skulle dock leda till ett betydligt mera komplicerat styrförfarande.

25 Uppfinningen är givetvis inte på något sätt begränsad till de ovan beskrivna föredragna utföringsformerna, utan en mängd möjligheter till modifikationer därav torde vara uppenbara för en fackman på området, utan att denne avviker från uppfinningens grundtanke sådan denna definieras i patentkraven.

30 En mängd andra möjligheter till styrscheman som utnyttjar den uppfinningsenliga grundtanken torde vara uppenbara för fackmän på området.

35 Exempelvis är det mycket väl möjligt att känna av riktningen på strömmen i utgången och göra utförandet av en extrasekvens eller ej beroende av strömriktningen. Det är även möjligt att om-

riktaren ifråga uppvisar ytterligare nämnda enheter för att ge  
möjlighet till fler än tre nivåer på utgången.

2009-10-09

# Patentkrav

1. Förfarande för styrning av en omriktare för omriktning av  
5 likspänning till växelspänning eller likspänning och vice versa, vilken innefattar en mellan två poler, en positiv (7) och en negativ (8), hos en första sida i form av en likspänningssida hos omriktaren anordnad seriekoppling av fyra enheter (S1-S4), vilka vardera innefattar ett släckbart halvledarelement (13-16) och en  
10 därmed antiparallellt kopplad diod (17-20) och är givna ordningsnummer efter ordningen i seriekopplingen från den positiva till den negativa polen, en ledning hos omriktarens andra sida ansluten till en första mittpunkt, benämnd utgång (4), hos seriekopplingen mellan den andra och tredje enheten, medel (9) anordnade att på nämnda första sida tillhandahålla en mittpunkt (23) mellan de båda polerna och lägga dessa poler på samma spänning men med motsatta tecken i förhållande till den första sidans mittpunkt, varvid en andra mittpunkt (24) hos seriekopplingen mellan den första och andra enheten är via en femte  
15 nämnd enhet (S5) med ett släckbart halvledarelement (10) och med den antiparallellt med detta kopplade dioden (26) med ledriktningen med avseende på utgången (4) motsatt ledriktning hos den andra enhetens diod ansluten till den första sidans mittpunkt (23) och en tredje mittpunkt (27) hos seriekopplingen mellan den tredje och fjärde enheten är via en sjätte nämnd enhet (S6) med ett släckbart halvledarelement (11) och med den antiparallellt med detta kopplade dioden (29) med ledriktning med avseende på utgången motsatt den tredje enhetens diod ansluten till den första sidans mittpunkt, vid vilket enheternas halvledarelement styrs att tändas och släckas så att omväxlande fyra huvudtillstånd erhålles hos omriktaren i form av anslutning av utgången (4) till den första sidans pluspol (7) enligt ett första, minuspol (8) enligt ett andra eller mittpunkt (23) via något av två olika så kallade nolltillstånd, nämligen ett tredje, i vilket den  
20 andra och femte enheten är i ledande tillstånd, och ett fjärde, i vilket den tredje och sjätte enheten är i ledande tillstånd, varvid den första och sjätte enheten bildar ett par genom att dessa  
25  
30  
35

halvledarelement styrs att i respektive huvudtillstånd intaga samma läge, tänd eller släckt, och den fjärde och femte enheten bildar ett par genom att dessa halvledarelement styrs att i respektive huvudtillstånd intaga samma läge, tänd eller släckt, samt  
5 varvid en växling mellan det första och andra huvudtillståndet alltid görs via det tredje eller fjärde nolltillståndet, kännetecknat därav, att vid ett växlande mellan huvudtillstånd genom en så kallad liten kommuteringsloop utförs, det vill säga ett växlande  
10 mellan ett anslutande av pluspolen (7) till utgången (4) och nolltillståndet enligt det tredje huvudtillståndet eller ett växlande mellan anslutande av minuspolen (8) till utgången (4) och nolltillståndet enligt det fjärde huvudtillståndet, åtminstone när strömriktningen skulle innebära en spänningstopp på väsentligen hela spänningen mellan nämnda pluspol och minuspol över den  
15 av den andra eller tredje enheten (S2, S3) som ej tillhör kommuteringsloopen i det fall halvledarelementen som skall vara tända i det kommande huvudtillståndet och tillhör ett nämnt par (S1, S6 resp S4, S5) av enheter skulle tändas samtidigt, en extra sekvens i form av en fördröjd tändning av halvledarelementet hos  
20 den ena enheten hos sistnämnda par relativt halvledarelementet hos detta pars andra enhet.

2. Förfarande enligt krav 1, kännetecknat därav, att nämnda extra sekvens alltid utförs vid växling av huvudtillstånd enligt en  
25 nämnd liten kommuteringsloop oberoende av strömriktningen vid utgången.

3. Förfarande enligt krav 1 eller 2, kännetecknat därav, att det är halvledarelementet i den yttre enheten (S1, S4), det vill säga  
30 den första eller fjärde enheten, hos respektive par av enheter som tänds med fördröjning relativt den andra enheten (S6, S5), det vill säga den sjätte eller femte, i paret.

4. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat  
35 därav, att vid växlande från det första till det tredje huvudtillståndet tänds halvledarelementet i den fjärde enheten (S4) med en fördröjning relativt halvledarelementet i den femte enheten (S5).

5. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat därav, att vid växlande från det andra till det fjärde huvudtillståndet tänds halvledarelementet i den första enheten (S1) med en  
5 fördröjning relativt halvledarelementet i den sjätte enheten (S6).

6. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat därav, att vid ett växlande från det tredje till det första huvudtillståndet tänds halvledarelementet i den första enheten (S1) med  
10 en fördröjning relativt halvledarelementet i den sjätte enheten (S6).

7. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat därav, att vid ett växlande från det fjärde till det andra huvudtillståndet tänds halvledarelementet i den fjärde enheten (S4) med  
15 en fördröjning relativt halvledarelementet i den femte enheten (S5).

8. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat därav, att nämnda fördröjning är mindre än en tiondel, företrädesvis mindre än en hundradel av den normala varaktigheten av ett nämnt huvudtillstånd.  
20

9. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat därav, att enheternas halvledarelement styrs så att mellan två huvudtillstånd alltid ett så kallat blankingtillstånd (B) uppnås för undvikande av att halvledarelement som inte får vara tända samtidigt skall kortvarigt åtminstone delvis vara detta och att under detta tillstånd ett sådant halvledarelement hinner släcka innan  
25  
30 därefter ett annat sådant tänds.

10. Förfarande enligt krav 9, kännetecknat därav, att halvledarelementen styrs för intagande av nämnda blankingtillstånd (B) under en tidsperiod som varar mindre än en tiondel, företrädesvis  
35 mindre än en hundradel av den normala varaktigheten av ett nämnt huvudtillstånd.

11. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat därav, att det första huvudtillståndet uppnås genom att styra halvledarelementen i den första (S1), andra (S2) och sjätte (S6) enheten att vara tända, det andra huvudtillståndet genom att styra halvledarelementen i den tredje (S3), fjärde (S4) och femte (S5) enheten att vara tända, det tredje huvudtillståndet genom att styra halvledarelementen i den andra (S2), fjärde (S4) och femte (S5) enheten att vara tända och det fjärde huvudtillståndet genom att styra halvledarelementen i den första (S1), tredje (S3) och sjätte (S6) enheten att vara tända.

12. Förfarande enligt krav 11, kännetecknat därav, att vid växlande från det första huvudtillståndet till det tredje släcks först halvledarelementen i den första (S1) och sjätte (S6) enheten, sedan tänds halvledarelementet i den femte (S5) enheten och slutligen tänds halvledarelementet i den fjärde enheten (S4).

13. Förfarande enligt krav 11, kännetecknat därav, att vid växlande från det tredje huvudtillståndet till det första huvudtillståndet släcks först halvledarelementet i den fjärde enheten (S4), sedan tänds halvledarelementet i den sjätte enheten (S6), därpå släcks halvledarelementet i den femte enheten (S5) och slutligen tänds halvledarelementet i den första enheten (S1).

14. Förfarande enligt krav 11, kännetecknat därav, att vid växlande från det andra huvudtillståndet till det fjärde huvudtillståndet släcks först halvledarelementen i den fjärde (S4) och femte (S5) enheten, sedan tänds halvledarelementet i den sjätte enheten (S6) och slutligen tänds halvledarelementet i den första enheten (S1).

15. Förfarande enligt krav 11, kännetecknat därav, att vid växlande från det fjärde huvudtillståndet till det andra huvudtillståndet släcks först halvledarelementet i den första enheten (S1), sedan tänds halvledarelementet i den femte enheten (S5), därpå släcks halvledarelementet i den sjätte enheten (S6) och slutligen tänds halvledarelementet i den fjärde enheten (S4).

16. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat därav, att halvledarelementen styrs för att minimera varaktighe-  
ten hos mellan nämnda huvudtillstånd liggande tillstånd med  
5 halvledarelementen i den andra (S2) och sjätte (S6) enheten  
samtidigt tända eller i den tredje (S3) och femte (S5) enheten  
samtidigt tända för undvikande av parallellströmmar i omriktaren.

17. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat  
10 därav, att vid växlande mellan huvudtillstånd via en stor kommu-  
teringsloop, det vill säga ett växlande mellan det första huvudtill-  
ståndet och det fjärde huvudtillståndet eller ett växlande mellan  
det andra huvudtillståndet och det tredje huvudtillståndet, styrs  
de till samma enhetspar (S1, S6 resp S4, S5) hörande halvledar-  
15 elementen med en och samma styripuls för att båda under väx-  
landet konstant hållas i samma läge, släckt eller tänt.

18. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat  
därav, att enheternas halvledarelement styrs så att de båda noll-  
20 tillstånd intages väsentligen lika många gånger per tidsenhet.

19. Förfarande enligt krav 18, kännetecknat därav, att enheter-  
nas halvledarelement styrs så att väsentligen varje gång ett  
nämnt nolltillstånd skall väljas väljs det motsatta nolltillståndet  
25 mot det närmast i tiden föregående nolltillståndet.

20. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat  
därav, att det utförs på en omriktare med flera nämnda halvledar-  
element seriekopplade i varje nämnd enhet (S1-S6), och att  
30 halvledarelementen tillhörande samma enhet styrs genom en och  
samma styripuls.

21. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat  
därav, att det är halvledarelement (13-16) i form av IGBT:er (In-  
35 sulated Gate Bipolar Transistors) som styrs att tändas och  
släckas.

22. Förfarande enligt något av föregående krav, kännetecknat därav, att det utförs på en omriktare i form av en VSC-omriktare för omriktning av växelspanning till likspänning och vice versa med nämnda ledning bildad av en växelspanningsfasledning för att via växlande mellan huvudtillstånden alstra ett tåg av pulser med bestämda amplituder enligt ett pulsbreddsmoduleringsmönster på omriktarens utgång (4).
- 10 23. Förfarande enligt krav 22, kännetecknat därav, att det är en VSC-omriktare med en likspänningssida bildad av ett likspänningsnät för överföring av högspänd likström (HVDC) och växelspanningsfasledningen tillhörande ett växelspanningsnät som styrs.
- 15 24. Förfarande enligt krav 22, kännetecknat därav, att det är två VSC-omriktare hos en back-to-back-station med sina växelspanningssidor anslutna till ett och samma eller var sitt växelspanningsnät och sina likspänningssidor anslutna till varandra som styrs.
- 20 25. Förfarande enligt krav 22, kännetecknat därav, att det är en VSC-omriktare ingående i en SVC (Static Var Compensator) med likspänningssidan bildad av fritt hängande kondensatorer och växelspanningsfasledningen tillhörande ett växelspanningsnät som styrs.
- 25 26. Förfarande enligt något av kraven 1-21, kännetecknat därav, att det är en VSC-omriktare med nämnda utgång ansluten till en växelströmsmotor som styrs.
- 30 27. Förfarande enligt något av kraven 1-21, kännetecknat därav, att det är en VSC-omriktare med nämnda utgång ansluten till en växelströmgenerator som styrs.
- 35 28. Omriktare för omriktning av likspänning till växelspanning eller likspänning och vice versa, vilken innefattar en mellan två



poler, en positiv (7) och en negativ (8), hos en första sida i form  
 av en likspänningssida hos omriktaren anordnad seriekoppling av  
 fyra enheter (S1-S4), vilka vardera innefattar ett släckbart halvle-  
 darelement (13-16) och en därmed antiparallellt kopplad diod  
 5 (17-20) och är givna ordningsnummer efter ordningen i serie-  
 kopplingen från den positiva till den negativa polen, en ledning  
 hos omriktarens andra sida ansluten till en första mittpunkt, be-  
 nämnd utgång (4), hos seriekopplingen mellan den andra och  
 tredje enheten, medel (9) anordnade att på nämnda första sida  
 10 tillhandahålla en mittpunkt (23) mellan de båda polerna och  
 lägga dessa poler på samma spänning men med motsatta tecken  
 i förhållande till den första sidans mittpunkt, varvid en andra  
 mittpunkt (24) hos seriekopplingen mellan den första och andra  
 enheten är via en femte nämnd enhet (S5) med ett släckbart  
 15 halvledarelement (10) och med den antiparallellt med detta  
 kopplade dioden (26) med ledriktningen med avseende på ut-  
 gången motsatt ledriktningen hos den andra enhetens diod an-  
 sluten till den första sidans mittpunkt och en tredje mittpunkt (27)  
 hos seriekopplingen mellan den tredje och fjärde enheten är via  
 20 en sjätte nämnd enhet (S6) med ett släckbart halvledarelement  
 (11) och med den antiparallellt med detta kopplade dioden (29)  
 med ledriktningen med avseende på utgången motsatt den tredje  
 enhetens diod ansluten till den första sidans mittpunkt, varvid  
 omriktaren även innefattar en inrättning (30) anordnad att styra  
 25 enheternas halvledarelement att tändas och släckas för att om-  
 växlande uppnå fyra huvudtillstånd hos omriktaren i form av an-  
 slutning av utgången till den första sidans pluspol (7) enligt ett  
 första, minuspol (8) enligt ett andra eller mittpunkt (23) via något  
 av två olika så kallade nolltillstånd, nämligen ett tredje, i vilket  
 30 den andra och femte enheten är i ledande tillstånd, och ett  
 fjärde, i vilket den tredje och sjätte enheten är i ledande tillstånd,  
 varvid den första och sjätte enheten bildar ett par genom att in-  
 rättningen är anordnad att styra dessas halvledarelement att i  
 respektive huvudtillstånd intaga samma läge, tänt eller släckt,  
 35 och den fjärde och femte enheten bildar ett par genom att inrätt-  
 ningen är anordnad att styra dessas halvledarelement att i re-  
 spektive huvudtillstånd intaga samma läge, tänt eller släckt, samt

- varvid inrättningen är anordnad att styra halvledarelementen så att en växling mellan det första och andra huvudtillståndet alltid görs via det tredje eller fjärde nolltillståndet, kännetecknad därav, att inrättningen är anordnad att, vid ett växlande mellan
- 5 huvudtillstånd genom en så kallad liten kommuteringsloop, det vill säga mellan anslutande av pluspolen till utgången och nolltillståndet enligt det tredje huvudtillståndet eller ett anslutande av minuspolen till utgången och nolltillståndet enligt det fjärde huvudtillståndet, åtminstone när strömriktningen skulle
- 10 innebära en spänningstopp på väsentligen hela spänningen mellan nämnda pluspol (7) och minuspol (8) över den av den andra (S2) eller tredje (S3) enheten som ej tillhör kommuteringsloopen i det fall halvledarelementen som skall vara tända i det kommande huvudtillståndet och tillhör ett nämnt par av en-
- 15 heter skulle tändas samtidigt, styra dessa halvledarelement enligt en extra sekvens i form av en fördröjd tändning av halvledarelementet hos den ena enheten hos sistnämnda par relativt halvledarelementet hos parets andra enhet.
- 20 29. Datorprogram som är laddningsbart direkt in i internminnet hos en dator, vilket innefattar mjukvarukodpartier för styrande av stegen hos något av kraven 1-27 när programmet körs på datorn.
30. Datorprogram enligt krav 29 tillhandahållet åtminstone delvis
- 25 via ett nätverk såsom Internet.
31. Datorläsbart medium med ett därpå registrerat program, vilket är utformat att bringa en dator att styra stegen enligt något av kraven 1-27.

## SAMMANDRAG

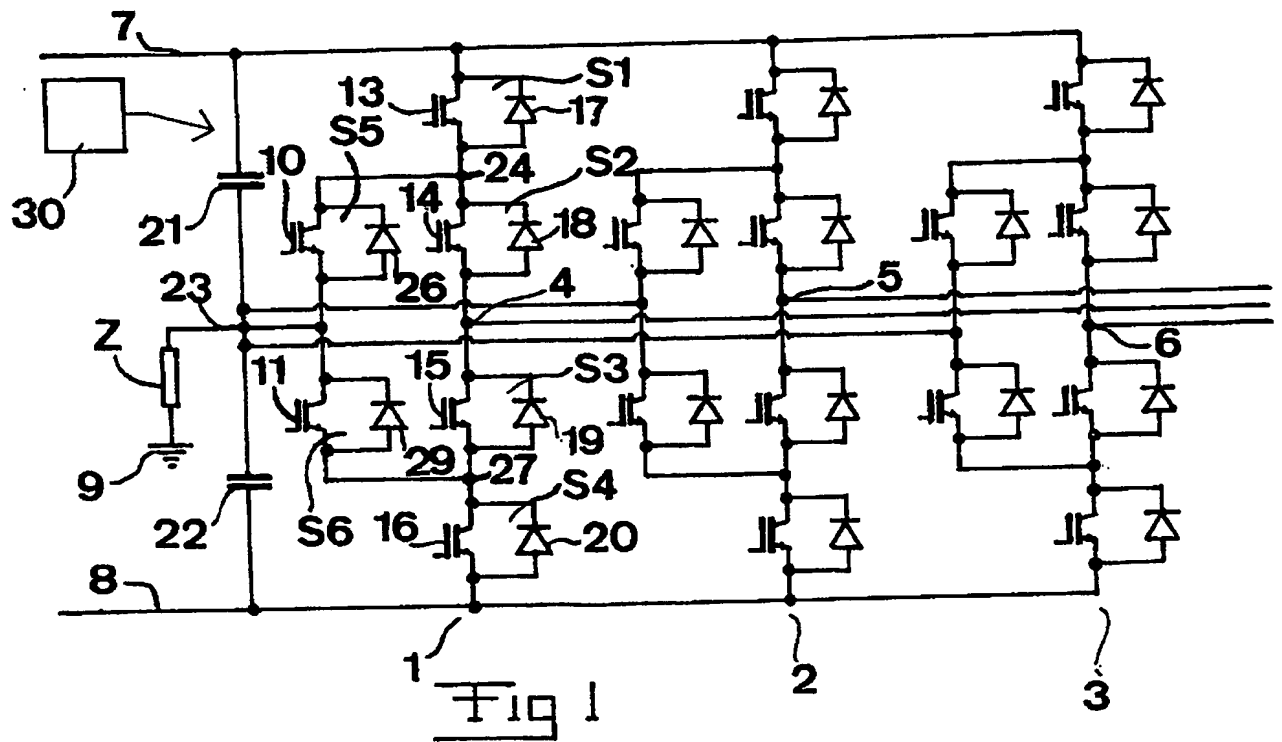
Vid ett förfarande för styrning av en omriktare för omriktning av  
 likspänning till växelspanning eller likspänning och vice versa,  
 5 hos vilken en utgång hos omriktaren kan alternativt anslutas till  
 en pluspol (7), en minuspole (8) eller en mittpunkt (23) hos en  
 likspänningssida hos omriktaren i form av olika så kallade hu-  
 vudtillstånd, utförs vid ett växlande mellan huvudtillstånd genom  
 en så kallad liten kommuteringsloop en extrasekvens i form av en  
 10 fördröjd tändning av halvledarelement (13, 16) hos en enhet hos  
 omriktaren relativt halvledarelement (14, 15) hos en annan en-  
 het hos ett enhetspar hos omriktaren.

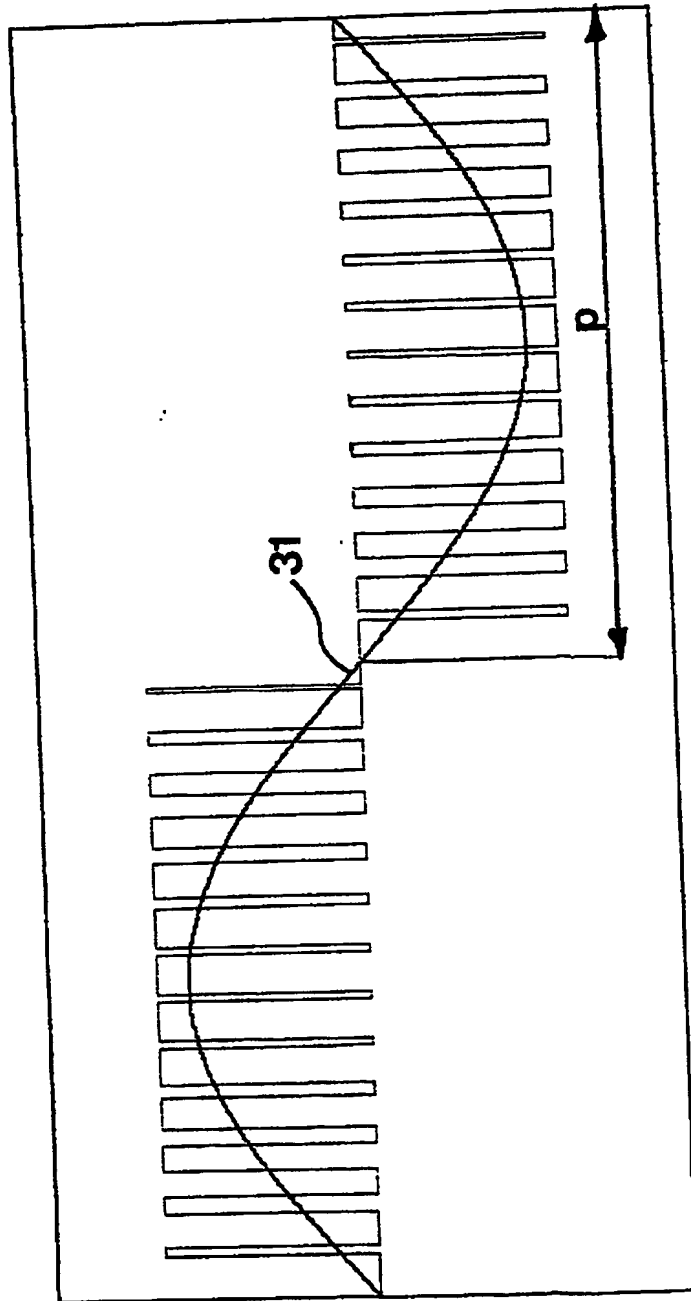
(Fig 1).

15

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93  
94  
95  
96  
97  
98  
99  
100  
101  
102  
103  
104  
105  
106  
107  
108  
109  
110  
111  
112  
113  
114  
115  
116  
117  
118  
119  
120  
121  
122  
123  
124  
125  
126  
127  
128  
129  
130  
131  
132  
133  
134  
135  
136  
137  
138  
139  
140  
141  
142  
143  
144  
145  
146  
147  
148  
149  
150  
151  
152  
153  
154  
155  
156  
157  
158  
159  
160  
161  
162  
163  
164  
165  
166  
167  
168  
169  
170  
171  
172  
173  
174  
175  
176  
177  
178  
179  
180  
181  
182  
183  
184  
185  
186  
187  
188  
189  
190  
191  
192  
193  
194  
195  
196  
197  
198  
199  
200  
201  
202  
203  
204  
205  
206  
207  
208  
209  
210  
211  
212  
213  
214  
215  
216  
217  
218  
219  
220  
221  
222  
223  
224  
225  
226  
227  
228  
229  
230  
231  
232  
233  
234  
235  
236  
237  
238  
239  
240  
241  
242  
243  
244  
245  
246  
247  
248  
249  
250  
251  
252  
253  
254  
255  
256  
257  
258  
259  
260  
261  
262  
263  
264  
265  
266  
267  
268  
269  
270  
271  
272  
273  
274  
275  
276  
277  
278  
279  
280  
281  
282  
283  
284  
285  
286  
287  
288  
289  
290  
291  
292  
293  
294  
295  
296  
297  
298  
299  
300  
301  
302  
303  
304  
305  
306  
307  
308  
309  
310  
311  
312  
313  
314  
315  
316  
317  
318  
319  
320  
321  
322  
323  
324  
325  
326  
327  
328  
329  
330  
331  
332  
333  
334  
335  
336  
337  
338  
339  
340  
341  
342  
343  
344  
345  
346  
347  
348  
349  
350  
351  
352  
353  
354  
355  
356  
357  
358  
359  
360  
361  
362  
363  
364  
365  
366  
367  
368  
369  
370  
371  
372  
373  
374  
375  
376  
377  
378  
379  
380  
381  
382  
383  
384  
385  
386  
387  
388  
389  
390  
391  
392  
393  
394  
395  
396  
397  
398  
399  
400  
401  
402  
403  
404  
405  
406  
407  
408  
409  
410  
411  
412  
413  
414  
415  
416  
417  
418  
419  
420  
421  
422  
423  
424  
425  
426  
427  
428  
429  
430  
431  
432  
433  
434  
435  
436  
437  
438  
439  
440  
441  
442  
443  
444  
445  
446  
447  
448  
449  
450  
451  
452  
453  
454  
455  
456  
457  
458  
459  
460  
461  
462  
463  
464  
465  
466  
467  
468  
469  
470  
471  
472  
473  
474  
475  
476  
477  
478  
479  
480  
481  
482  
483  
484  
485  
486  
487  
488  
489  
490  
491  
492  
493  
494  
495  
496  
497  
498  
499  
500  
501  
502  
503  
504  
505  
506  
507  
508  
509  
510  
511  
512  
513  
514  
515  
516  
517  
518  
519  
520  
521  
522  
523  
524  
525  
526  
527  
528  
529  
530  
531  
532  
533  
534  
535  
536  
537  
538  
539  
540  
541  
542  
543  
544  
545  
546  
547  
548  
549  
550  
551  
552  
553  
554  
555  
556  
557  
558  
559  
560  
561  
562  
563  
564  
565  
566  
567  
568  
569  
570  
571  
572  
573  
574  
575  
576  
577  
578  
579  
580  
581  
582  
583  
584  
585  
586  
587  
588  
589  
590  
591  
592  
593  
594  
595  
596  
597  
598  
599  
600  
601  
602  
603  
604  
605  
606  
607  
608  
609  
610  
611  
612  
613  
614  
615  
616  
617  
618  
619  
620  
621  
622  
623  
624  
625  
626  
627  
628  
629  
630  
631  
632  
633  
634  
635  
636  
637  
638  
639  
640  
641  
642  
643  
644  
645  
646  
647  
648  
649  
650  
651  
652  
653  
654  
655  
656  
657  
658  
659  
660  
661  
662  
663  
664  
665  
666  
667  
668  
669  
670  
671  
672  
673  
674  
675  
676  
677  
678  
679  
680  
681  
682  
683  
684  
685  
686  
687  
688  
689  
690  
691  
692  
693  
694  
695  
696  
697  
698  
699  
700  
701  
702  
703  
704  
705  
706  
707  
708  
709  
710  
711  
712  
713  
714  
715  
716  
717  
718  
719  
720  
721  
722  
723  
724  
725  
726  
727  
728  
729  
730  
731  
732  
733  
734  
735  
736  
737  
738  
739  
740  
741  
742  
743  
744  
745  
746  
747  
748  
749  
750  
751  
752  
753  
754  
755  
756  
757  
758  
759  
760  
761  
762  
763  
764  
765  
766  
767  
768  
769  
770  
771  
772  
773  
774  
775  
776  
777  
778  
779  
780  
781  
782  
783  
784  
785  
786  
787  
788  
789  
790  
791  
792  
793  
794  
795  
796  
797  
798  
799  
800  
801  
802  
803  
804  
805  
806  
807  
808  
809  
810  
811  
812  
813  
814  
815  
816  
817  
818  
819  
820  
821  
822  
823  
824  
825  
826  
827  
828  
829  
830  
831  
832  
833  
834  
835  
836  
837  
838  
839  
840  
841  
842  
843  
844  
845  
846  
847  
848  
849  
850  
851  
852  
853  
854  
855  
856  
857  
858  
859  
860  
861  
862  
863  
864  
865  
866  
867  
868  
869  
870  
871  
872  
873  
874  
875  
876  
877  
878  
879  
880  
881  
882  
883  
884  
885  
886  
887  
888  
889  
890  
891  
892  
893  
894  
895  
896  
897  
898  
899  
900  
901  
902  
903  
904  
905  
906  
907  
908  
909  
910  
911  
912  
913  
914  
915  
916  
917  
918  
919  
920  
921  
922  
923  
924  
925  
926  
927  
928  
929  
930  
931  
932  
933  
934  
935  
936  
937  
938  
939  
940  
941  
942  
943  
944  
945  
946  
947  
948  
949  
950  
951  
952  
953  
954  
955  
956  
957  
958  
959  
960  
961  
962  
963  
964  
965  
966  
967  
968  
969  
970  
971  
972  
973  
974  
975  
976  
977  
978  
979  
980  
981  
982  
983  
984  
985  
986  
987  
988  
989  
990  
991  
992  
993  
994  
995  
996  
997  
998  
999  
1000  
1001  
1002  
1003  
1004  
1005  
1006  
1007  
1008  
1009  
1010  
1011  
1012  
1013  
1014  
1015  
1016  
1017  
1018  
1019  
1020  
1021  
1022  
1023  
1024  
1025  
1026  
1027  
1028  
1029  
1030  
1031  
1032  
1033  
1034  
1035  
1036  
1037  
1038  
1039  
1040  
1041  
1042  
1043  
1044  
1045  
1046  
1047  
1048  
1049  
1050  
1051  
1052  
1053  
1054  
1055  
1056  
1057  
1058  
1059  
1060  
1061  
1062  
1063  
1064  
1065  
1066  
1067  
1068  
1069  
1070  
1071  
1072  
1073  
1074  
1075  
1076  
1077  
1078  
1079  
1080  
1081  
1082  
1083  
1084  
1085  
1086  
1087  
1088  
1089  
1090  
1091  
1092  
1093  
1094  
1095  
1096  
1097  
1098  
1099  
1100  
1101  
1102  
1103  
1104  
1105  
1106  
1107  
1108  
1109  
1110  
1111  
1112  
1113  
1114  
1115  
1116  
1117  
1118  
1119  
1120  
1121  
1122  
1123  
1124  
1125  
1126  
1127  
1128  
1129  
1130  
1131  
1132  
1133  
1134  
1135  
1136  
1137  
1138  
1139  
1140  
1141  
1142  
1143  
1144  
1145  
1146  
1147  
1148  
1149  
1150  
1151  
1152  
1153  
1154  
1155  
1156  
1157  
1158  
1159  
1160  
1161  
1162  
1163  
1164  
1165  
1166  
1167  
1168  
1169  
1170  
1171  
1172  
1173  
1174  
1175  
1176  
1177  
1178  
1179  
1180  
1181  
1182  
1183  
1184  
1185  
1186  
1187  
1188  
1189  
1190  
1191  
1192  
1193  
1194  
1195  
1196  
1197  
1198  
1199  
1200  
1201  
1202  
1203  
1204  
1205  
1206  
1207  
1208  
1209  
1210  
1211  
1212  
1213  
1214  
1215  
1216  
1217  
1218  
1219  
1220  
1221  
1222  
1223  
1224  
1225  
1226  
1227  
1228  
1229  
1230  
1231  
1232  
1233  
1234  
1235  
1236  
1237  
1238  
1239  
1240  
1241  
1242  
1243  
1244  
1245  
1246  
1247  
1248  
1249  
1250  
1251  
1252  
1253  
1254  
1255  
1256  
1257  
1258  
1259  
1260  
1261  
1262  
1263  
1264  
1265  
1266  
1267  
1268  
1269  
1270  
1271  
1272  
1273  
1274  
1275  
1276  
1277  
1278  
1279  
1280  
1281  
1282  
1283  
1284  
1285  
1286  
1287  
1288  
1289  
1290  
1291  
1292  
1293  
1294  
1295  
1296  
1297  
1298  
1299  
1300  
1301  
1302  
1303  
1304  
1305  
1306  
1307  
1308  
1309  
1310  
1311  
1312  
1313  
1314  
1315  
1316  
1317  
1318  
1319  
1320  
1321  
1322  
1323  
1324  
1325  
1326  
1327  
1328  
1329  
1330  
1331  
1332  
1333  
1334  
1335  
1336  
1337  
1338  
1339  
1340  
1341  
1342  
1343  
1344  
1345  
1346  
1347  
1348  
1349  
1350  
1351  
1352  
1353  
1354  
1355  
1356  
1357  
1358  
1359  
1360  
1361  
1362  
1363  
1364  
1365  
1366  
1367  
1368  
1369  
1370  
1371  
1372  
1373  
1374  
1375  
1376  
1377  
1378  
1379  
1380  
1381  
1382  
1383  
1384  
1385  
1386  
1387  
1388  
1389  
1390  
1391  
1392  
1393  
1394  
1395  
1396  
1397  
1398  
1399  
1400  
1401  
1402  
1403  
1404  
1405  
1406  
1407  
1408  
1409  
1410  
1411  
1412  
1413  
1414  
1415  
1416  
1417  
1418  
1419  
1420  
1421  
1422  
1423  
1424  
1425  
1426  
1427  
1428  
1429  
1430  
1431  
1432  
1433  
1434  
1435  
1436  
1437  
1438  
1439  
1440  
1441  
1442  
1443  
1444  
1445  
1446  
1447  
1448  
1449  
1450  
1451  
1452  
1453  
1454  
1455  
1456  
1457  
1458  
1459  
1460  
1461  
1462  
1463  
1464  
1465  
1466  
1467  
1468  
1469  
1470  
1471  
1472  
1473  
1474  
1475  
1476  
1477  
1478  
1479  
1480  
1481  
1482  
1483  
1484  
1485  
1486  
1487  
1488  
1489  
1490  
1491  
1492  
1493  
1494  
1495  
1496  
1497  
1498  
1499  
1500  
1501  
1502  
1503  
1504  
1505  
1506  
1507  
1508  
1509  
1510  
1511  
1512  
1513  
1514  
1515  
1516  
1517  
1518  
1519  
1520  
1521  
1522  
1523  
1524  
1525  
1526  
1527  
1528  
1529  
1530  
1531  
1532  
1533  
1534  
1535  
1536  
1537  
1538  
1539  
1540  
1541  
1542  
1543  
1544  
1545  
1546  
1547  
1548  
1549  
1550  
1551  
1552  
1553  
1554  
1555  
1556  
1557  
1558  
1559  
1560  
1561  
1562  
1563  
1564  
1565  
1566  
1567  
1568  
1569  
1570  
1571  
1572  
1573  
1574  
1575  
1576  
1577  
1578  
1579  
1580  
1581  
1582  
1583  
1584  
1585  
1586  
1587  
1588  
1589  
1590  
1591  
1592  
1593  
1594  
1595  
1596  
1597  
1598  
1599  
1600  
1601  
1602  
1603  
1604  
1605  
1606  
1607  
1608  
1609  
1610  
1611  
1612  
1613  
1614  
1615  
1616  
1617  
1618  
1619  
1620  
1621  
1622  
1623  
1624  
1625  
1626  
1627  
1628  
1629  
1630  
1631  
1632  
1633  
1634  
1635  
1636  
1637  
1638  
1639  
1640  
1641  
1642  
1643  
1644  
1645  
1646  
1647  
1648  
1649  
1650  
1651  
1652  
1653  
1654  
1655  
1656  
1657  
1658  
1659  
1660  
1661  
1662  
1663  
1664  
1665  
1666  
1667  
1668  
1669  
1670  
1671  
1672  
1673  
1674  
1675  
1676  
1677  
1678  
1679  
1680  
1681  
1682  
1683  
1684  
1685  
1686  
1687  
1688  
1689  
1690  
1691  
1692  
1693  
1694  
1695  
1696  
1697  
1698  
1699  
1700  
1701  
1702  
1703  
1704  
1705  
1706  
1707  
1708  
1709  
1710  
1711  
1712  
1713  
1714  
1715  
1716  
1717  
1718  
1719  
1720  
1721  
1722  
1723  
1724  
1725  
1726  
1727  
1728  
1729  
1730  
1731  
1732  
1733  
1734  
1735  
1736  
1737  
1738  
1739  
1740  
1741  
1742  
1743  
1744  
1745  
1746  
1747  
1748  
1749  
1750  
1751  
1752  
1753  
1754  
1755  
1756  
1757  
1758  
1759  
1760  
1761  
1762  
1763  
1764  
1765  
1766  
1767  
1768  
1769  
1770  
1771  
1772  
1773  
1774  
1775  
1776  
1777  
1778  
1779  
1780  
1781  
1782  
1783  
1784  
1785  
1786  
1787  
1788  
1789  
1790  
1791  
1792  
1793  
1794  
1795  
1796  
1797  
1798  
1799  
1800  
1801  
1802  
1803  
1804  
1805  
1806  
1807  
1808  
1809  
1810  
1811  
1812  
1813  
1814  
1815  
1816  
1817  
1818  
1819  
1820  
1821  
1822  
1823  
1824  
1825  
1826  
1827  
1828  
1829  
1830  
1831  
1832  
1833  
1834  
1835  
1836  
1837  
1838  
1839  
1840  
1841  
1842  
1843  
1844  
1845  
1846  
1847  
1848  
1849  
1850  
1851  
1852  
1853  
1854  
1855  
1856  
1857  
1858  
1859  
1860  
1861  
1862  
1863  
1864  
1865  
1866  
1867  
1868  
1869  
1870  
1871  
1872  
1873  
1874  
1875  
1876  
1877  
1878  
1879  
1880  
1881  
1882  
1883  
1884  
1885  
1886  
1887  
1888  
1889  
1890  
1891  
1892  
1893  
1894  
1895  
1896  
1897  
1898  
1899  
1900  
1901  
1902  
1903  
1904  
1905  
1906  
1907  
1908  
1909  
1910  
1911  
1912  
1913  
1914  
1915  
1916  
1917  
1918  
1919  
1920  
1921  
1922  
1923  
1924  
1925  
1926  
1927  
1928  
1929  
1930  
1931  
1932  
1933  
1934  
1935  
1936  
1937  
1938  
1939  
1940  
1941  
1942  
1943  
1944  
1945  
1946  
1947  
1948  
1949  
1950  
1951  
1952  
1953  
1954  
1955  
1956  
1957  
1958  
1959  
1960  
1961  
1962  
1963  
1964  
1965  
1966  
1967  
1968  
1969  
1970  
1971  
1972  
1973  
1974  
1975  
1976  
1977  
1978  
1979  
1980  
1981  
1982  
1983  
1984  
1985  
1986  
1987  
1988  
1989  
1990  
1991  
1992  
1993  
1994  
1995  
1996  
1997  
1998  
1999  
2000  
2001  
2002  
2003  
2004  
2005  
2006  
2007  
2008  
2009  
2010  
2011  
2012  
2013  
2014  
2015  
2016  
2017  
2018  
2019  
2020  
2021  
2022  
2023  
2024  
2025  
2026  
2027  
2028  
2029  
2030  
2031  
2032  
2033  
2034  
2035  
2036  
2037  
2038  
2039  
2040  
2041  
2042  
2043  
2044  
2045  
2046  
2047  
2048  
2049  
2050  
2051  
2052  
2053  
2054  
2055  
2056  
2057  
2058  
2059  
2060  
2061  
2062  
2063  
2064  
2065  
2066  
2067  
2068  
2069  
2070  
2071  
2072  
2073  
2074  
2075  
2076  
2077  
2078  
2079  
2080  
2081  
2082  
2083  
2084  
2085  
2086  
2087  
2088  
2089  
2090  
2091  
2092  
2093  
2094  
2095  
2096  
2097  
2098  
2099  
2100  
2101  
2102  
2103  
2104  
2105  
2106  
2107  
2108  
2109  
2110  
2111  
2112  
2113  
2114  
2115  
2116  
2117  
2118  
2119  
2120  
2121  
2122  
2123  
2124  
2125  
2126  
2127  
2128  
2129  
2130  
2131  
2132  
2133  
2134  
2135  
2136  
2137  
2138  
2139  
2140  
2141  
2142  
2143  
2144  
2145  
2146  
2147  
2148  
2149  
2150  
2151  
2152  
2153  
2154  
2155  
2156  
2157  
2158  
2159  
2160  
2161  
2162

1/3





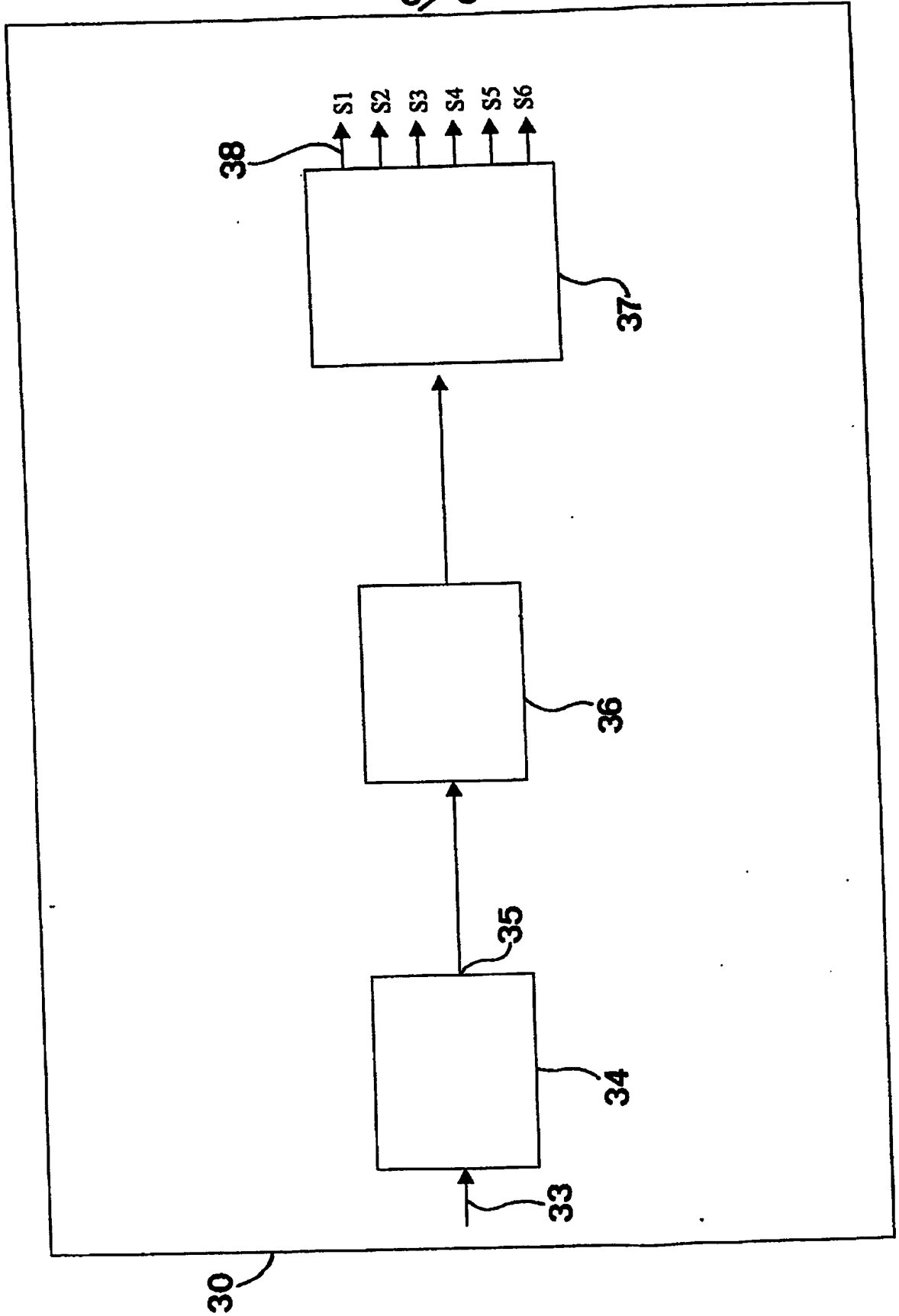


Fig 3